

خواص الألياف والخيوط البازلتية السورية المستمرة "SBCF"، واختباراتها "دراسة حالة الحبال البازلتية"

حسام نضال غانم*¹ باسل محمد عمر صنوفة²

¹. طالب دكتوراه - قسم هندسة التصميم الميكانيكي والإنتاج /هندسة صناعية/ - كلية الهندسة

الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق. . Eng.hossam.gh86@gmail.com

². أستاذ مساعد - قسم هندسة الإنتاج /أنظمة الجودة وتكاليها/ - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-

جامعة دمشق. . Basel62.sanofa@gamil.com

الملخص:

تعتبر الألياف والخيوط البازلتية والنااتجة عن انصهار الصخور البازلتية الطبيعية في درجات حرارة مرتفعة تتراوح بين (C° 1450-1600) بالمقارنة مع غيرها من الألياف الصناعية الأخرى مثل: (الألياف الكربونية والألياف الزجاجية وألياف الاسبستوس ..إلخ) هي المادة

المستقبلية الواعدة للعديد من التطبيقات المختلفة (البناء المدني، والخرسانات، والمنشآت، وصناعة السيارات، والكهرباء والإلكترونيات، وصناعة الكيماويات والبتروكيماويات، وخدمات الأجهزة المنزلية، وخطوط الأنابيب، والميناء، والمنصات البحرية، والزراعة ومحطات توليد الكهرباء ..إلخ) حيث بدأ السوق العالمي للألياف والخيوط البازلتية ينمو بسرعة كبيرة بسبب قلة تكاليفها من جهة، وخواصها التقنية والفنية المميزة من جهة أخرى، بالإضافة إلى الازدياد اليومي لمتطلبات حماية البيئة، لذلك جاءت هذه الدراسة لتسليط الضوء على خواص تلك الألياف وتوضيح تقانة تصنيعها.

تعتبر هذه الدراسة وبحسب معرفة الباحث من أولى الدراسات التي تدرس خواص الألياف والخيوط البازلتية السورية المستمرة، كما وتم قدر الإمكان توصيف اختبار الشد للحبال البازلتية السورية وبأقطار مختلفة (5 mm و 4 mm) ليكون انطلاقة أولية لبقية الباحثين في هذا المجال كي يتم الاستفادة منه والعمل على تطويره وتوصيفه بشكل أدق.

الكلمات المفتاحية: الصخور البازلتية، الألياف البازلتية السورية المستمرة (SBCF)، الخيوط (الخصل) البازلتية، الحبال البازلتية، اختبار الشد، اختبار (EDX).

تاريخ الإيداع: 2022/8/29

تاريخ القبول: 2022/10/27



حقوق النشر: جامعة دمشق -سورية،
يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب

الترخيص CC BY-NC-SA 04

Properties of Syrian Basalt Continuous Fibers and Yarns "SBCF", their Tests

"A case study of basalt ropes"

Hossam Nedal Ghanem^{*1} Basel Mohamed Omar Sanoufeh²

^{*1}. PhD Student in Dept. Of Mechanical Design & Production / Industrial Engineering/- Faculty of Mechanical & Electrical engineering – Damascus university. . Eng.hossam.gh86@gmail.com

². Assistant Prof. in Dept. Of Production / Quality systems and costs/ – Faculty of Mechanical & Electrical engineering – Damascus university.

. Basel62.sanofa@gamil.com

Abstract:

Basalt fibers and yarns resulting from the melting of natural basalt rocks at high temperatures ranging from (1450-1600 C°) compared to other synthetic fibers such as: (carbon fibers, glass fibers, asbestos fibers, etc.) is the most promising future material for many applications. Various (civil construction, concrete, facilities, automobile industry, electricity and electronics, chemical and petrochemical industry, home appliance services, pipelines, port, offshore platforms, agriculture, power plants, etc.) Its costs on the one hand, and its distinctive technical and technical characteristics on the other, in addition to the daily increase in environmental protection requirements. Therefore, this study came to shed light on the properties of these fibers and to clarify the technology of their manufacture.

This study, according to the researcher's knowledge, is one of the first studies to study the properties of Syrian continuous basalt fibers and yarns. The tensile test for Syrian basalt ropes of different diameters (5 mm and 4 mm) has also been described, as much as possible, to be a starting point for the rest of the researchers in this field in order to benefit from it and work on it. to be developed and described more accurately.

Key words: basalt rocks, Syrian basalt continuous fibers (BCF), basalt yarns (roving), basalt ropes, tensile test, (EDX) test.

Received: 29/8/2022

Accepted: 27/10/2022



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

المقدمة:

تُعتبر الصخور البازلتية الطبيعية المادة الأولية والأساسية الوحيدة التي تدخل في إنتاج وتركيب الألياف والخيوط البازلتية التي تضاها في مواصفاتها الألياف الأخرى مثل: (الألياف الزجاجية والكربونية وألياف السيراميك) من حيث الثبات الحراري وخصائص العزل الحراري والصوتي ومقاومة الاهتراء وعمرها الزمني المديد، وبنفس الوقت فإن البازلت بشكل عام ومنتجاته ليس لها تفاعلات سامة مع الهواء والماء ومادة غير قابلة للاشتعال والانفجار ولا يتفاعل مع المواد والأوساط الكيميائية وليس له أضرار على صحة الإنسان وغير ملوث للبيئة، كما أن الخيوط البازلتية سهلة التركيب مع الألياف والمواد الأخرى حيث تشكل مواد تركيبية ذات مواصفات نوعية عالية وتكاليف أقل [1]، وتغطي الصخور البازلتية مساحات شاسعة من أراضي الجمهورية العربية السورية، إذ تركزت الفعاليات البركانية في المناطق الجنوبية والوسطى والمنطقة الساحلية وحلب وشمال شرق سورية [2]، وأثبتت دراسات المؤسسة العامة للجيولوجيا بدمشق وذلك من خلال عملية التحليل الكيميائي للصخور البازلتية في سورية بأنها ملائمة جداً لتصنيع الألياف والخيوط البازلتية المستمرة خاصة بمحتوى SiO_2 والذي يبلغ %46 وأكثر والذي يعتبر الشرط الرئيسي في عملية التصنيع.

1- أهمية الدراسة:

- تسليط الضوء على الألياف والخيوط البازلتية نظراً لما تتمتع به من مزايا متعددة بالمقارنة مع الألياف الأخرى.
- تعتبر هذه الدراسة وبحسب معرفة الباحث من أولى الدراسات التي تدرس خواص الألياف والخيوط البازلتية السورية المستمرة، حيث قامت شركة روسية تدعى **BASELTECO** بأخذ عينات من الصخور البازلتية في سورية- محافظة السويداء- لإنتاج عينات من الألياف البازلتية المستمرة، وتم تزويد الباحثين ببعض تلك العينات والتي هي:

كونة خيوط بازلتية سورية المنشأ Syrian Basalt Fiber Roving، حبال بازلتية بأقطار مختلفة (قطر 5 mm، وقطر 4 mm).

2- أهداف الدراسة:

أولاً: تحديد بعض خواص الألياف والخيوط البازلتية السورية المستمرة وفق الإمكانيات المتاحة مثل:

- تحديد نمره الخيط وقطره، وتحديد قيم قوة انقطاعه (Force break [N]) واستطالته (Elong break [mm]) باستخدام جهاز قوة الشد TESTOMETRIC نموذج رقم P1 CX، وتمّ هذا الإجراء في مخبر الغزل والنسيج في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.
- توصيف عينات الخيوط البازلتية بالاعتماد على اختبار (EDX) للتحقق فيما إذا كان الخيط معالجاً أم لا لنتمكّن من الحكم على نتائج جميع الاختبارات وتفسيرها بموثوقية عالية، وتمّ هذا الإجراء في هيئة الطاقة الذرية في دمشق.

ثانياً: تحديد بعض خواص الحبال البازلتية السورية مثل: (قوة الانقطاع، والاستطالة، والانفعال والإجهاد) بكل نوعيها والمقارنة بينهما وذلك بإجراء اختبار الشد، وتمّ هذا الإجراء في مركز الاختبارات والأبحاث الصناعية في دمشق.

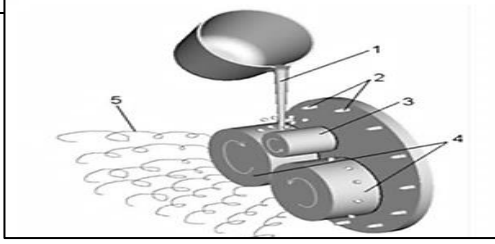
3- مشكلة الدراسة:

أشارت الاختبارات الأولية إلى أن السحب المباشر للحبال البازلتية ضمن فكي آلة اختبار الشد يؤدي إلى انزلاقها وتقطعها أثناء تطبيق الاختبار (فشل الاختبار) ولمعالجة هذه المشكلة تمّ تصميم نظام تثبيت (مقبض "مقمت" لكل نهاية حبل)، سنتطرق له في القسم العملي للدراسة.

4- الإطار النظري:

1.5 - الألياف البازلتية Basalt Fibers:

وهي عبارة عن الألياف المنتجة من انصهار الصخور البازلتية عند درجة الحرارة ($1400-1600\text{ }^{\circ}\text{C}$) دون أي إضافات



- (1) مصهور بازلتي، (2) صمامات النفخ، (3) اسطوانة تسريع،
(4) الاسطوانة المولدة للألياف، (5) ألياف البازلت

الشكل (2) طريقة Type Junkers

- الطريقة الثانية: [6]

وتدعى بتكنولوجيا الغزل بعد الصهر، ويتم إنتاج ألياف بقطر (10-14) ميكرون على شكل بكرات، حيث يتم إنتاج الألياف البازلتية المستمرة وفق المراحل التالية، والموضحة بالشكل (3):

- تحضير ذوبان البازلت لإنتاج الألياف البازلتية.
 - تشكيل المصهور البازلتي من خلال مجموعة جلب (بطانات) مصنوعة من البلاتين والروديوم.
 - استخلاص الألياف الأولية واللف على البكرات.
- أما المعالجات اللاحقة للخيوط والألياف البازلتية وتحويلها إلى مواد ومنتجات جاهزة للاستخدام فلا تتطلب طاقة ويتم تحضيرها باستخدام ما يسمى "التكنولوجيا الباردة".



الشكل (3) العملية الإنتاجية لتصنيع الألياف البازلتية المستمرة

(BCF)، من إعداد الباحث

- الطريقة الثالثة: [6]

تقنية إنتاج الألياف لأغراض العزل: نظام الطرد المركزي متعدد الدورات والموضح بالشكل (4)، حيث يتدفق تيار المصهور البازلتي القادم من الفرن المسخن بالغاز بشكل

أخرى، وتشبه الألياف الكربونية ولكنها أرخص منها، وتحتوي على تركيبة كيميائية مماثلة لألياف الزجاج ولكنها تتفوق عليها من ناحية المواصفات بـ 1.5 مرة (كالمنانة وشدة المقاومة للتأثيرات القلوية والحامضية والملحية وتحمل درجات الحرارة المرتفعة ومقاومة الأكسدة والإشعاع وقوة الضغط والقص بالإضافة إلى عدد كبير من المزايا) [3] و يوضح الشكل (1) الألياف البازلتية.



الشكل (1) الألياف البازلتية

2.5 - تقانة (تكنولوجيا) تصنيع الألياف البازلتية:

هناك ثلاثة طرق للحصول على الألياف البازلتية:

- الطريقة الأولى:

النفخ بأسطوانات الطرد المركزي وتدعى: **Type Junkers** [4] [5]

يتم تصنيع الألياف البازلتية في عملية مستمرة، حيث يتم تكسير الصخور البازلتية وغسلها ونقلها إلى داخل فرن الصهر، مما يؤدي إلى ذوبان البازلت بأكمله وبشكل موحد عند درجة حرارة 1500 درجة مئوية، [5] كما ويجب حفظ البازلت المنصهر في خزان لفترات طويلة تصل إلى سبع ساعات لضمان درجة حرارة متجانسة، وتستخدم هذه التقنية لتصنيع الألياف الرخيصة بطول (60-100) mm وقطر (20-8) ميكرون والتي تستخدم بشكل أساسي كمادة عازلة في البناء وصناعة السيارات، حيث يتم تمرير المصهور إلى آلة الغزل الأفقية والتي تمتلك ثلاثة رؤوس للطرد المركزي وتتكون من أسطوانة تسريع وأسطوانتين لتوليد الألياف، هذه الألياف المتشكلة بفعل القوة النابذة يتم نفخها بواسطة ضغط الهواء العالي كما في الشكل (2). [4] [5] [6]

خواص الألياف والخيوط البازلتية السورية المستمرة "SBCF"، واختباراتها "دراسة.....

غانم، صنوفة

- معامل الشد (معامل E، معامل يونغ) للألياف البازلتية المستمرة أعلى من الألياف الزجاجية الإلكترونية، مما يجعلها مرغوبة لتقوية المركبات.
- يتمتع نسيج البازلت بمرونة كافية ومقاومة جيدة للتعيب.

2.3.5 - الخواص الكيميائية للألياف البازلتية: [5] [6]

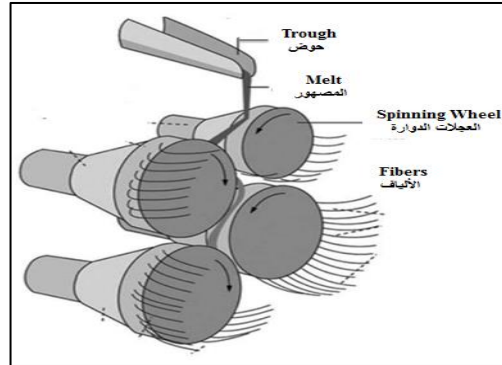
- تتمتع بمقاومة كيميائية عالية ومقاومة جيدة للأحماض والقلويات والمذيبات.
- تُظهر قابلية ممتازة للبلل مع قدرتها على الالتصاق الطبيعي بمجموعة واسعة من الروابط ومركبات الطلاء.
- تتمتع بمقاومة قوية ضد تأثير الفطريات والكائنات الحية الدقيقة، ومقاومة جيدة للأشعة فوق البنفسجية (UV) والاشعاع الكهرومغناطيسي عالي الطاقة والتلوث البيولوجي.
- عندما يتم غلي البازلت بالماء أو القلويات أو الحمض، فإن فقدان الوزن يكون منخفضاً بشكل كبير وهذا هو السبب في أنه شائع الاستخدام في مواد التسليح الخرسانية على شكل قضبان، وتعتبر خاملة بيولوجياً وكذلك صديقة للبيئة بحيث يمكن استخدامها في البيئات العدوانية.

3.3.5 - الخواص الحرارية للألياف البازلتية:

- تتمتع الألياف البازلتية بالقدرة على تحمل درجات الحرارة العالية والتي تتراوح بين (1100-1200 C°) لساعات طويلة دون حدوث أي ضرر عليها ودون تغيير مادي عليها وهذا السلوك مشابه للألياف الكربونية والألياف الزجاجية [5]، ويمكن أن تحافظ الألياف والأقمشة البازلتية غير المجهدة على سلامتها عند درجة حرارة تصل إلى (1250 C°)، مما يجعلها متفوقة مقارنة بالألياف الزجاجية والألياف الكربونية [10] [11]، ويوضح الجدول (1) مقارنة شاملة بين الخصائص الميكانيكية والخصائص الحرارية للألياف البازلتية مع أنواع متعددة من الألياف الأخرى (الألياف الزجاجية الإلكترونية، والألياف الزجاجية، وألياف البوليميد، والألياف الكربونية)، بالإضافة إلى مقارنة التكلفة.

الجدول (1) مقارنة خصائص الألياف البازلتية مع أنواع متعددة من الألياف، مأخوذاً عن [6] [10]

عامودي إلى الأسفل ليسقط على سطح العجلة الأولى، ثم يتم إلّاؤها جانبياً بواسطة حركة العجلات الدوارة عالية السرعة، وتستمر العجلات الموضوعية بشكل استراتيجي في العملية حتى يتم إنتاج ألياف بقطر نموذجي يبلغ حوالي 10 ميكرون.



الشكل (4) نظام الطرد المركزي متعدد الدورات، مأخوذاً عن [6]

3.5 - خواص الألياف والخيوط البازلتية: [1]

- تعتبر الخيوط البازلتية مادة خام طبيعية أحادية التركيب مؤلفة من مادة وحيدة هي البازلت، وتقسّم بحسب أقطارها وأطولها إلى المجموعات الرئيسية التالية:
- خيوط بازلتية مستمرة أقطارها 6-20 ميكرون وطول 10 كم أو أكثر حيث أنها قد تصل إلى 200 كم.
- ألياف بازلتية دقيقة وناعمة 4-12 ميكرون وطول 30-60 مم.
- ألياف بازلتية دقيقة وناعمة جداً 1-3 ميكرون وطول 50-60 مم.
- صفائح بازلتية بسماكة 2-5 ميكرون ومساحة 0.5-4 مم².
- 1.3.5 - الخواص الميكانيكية والفيزيائية للألياف البازلتية: [7] [8] [9]
- تتراوح كثافتها بين 2.8-2.9 g/cm³ وتعتبر شديدة الصلابة من (5-9) على مقياس مورس Mohs Scale نتيجة احتوائها على الحديد والمغنيسيوم وتتمتع بمقاومة فائقة للتآكل.
- يتم تصنيفها على أنها آمنة.
- يبلغ قطر الألياف البازلتية المستمرة (الخيوط البازلتية) ما بين (9-13) ميكرو متر.

غانم، صنّوفة

خواص الألياف والخيوط البازلتية السورتمة المستمرة "SBCF"، واختباراتها "دراسة....."

الخصائص	Properties	Basalt fiber	E-glass fiber	S-glass fiber	Polyamide fiber	Carbon fiber
قوة الشد	Tensile strength, M Pa	3000-4840	3100-3800	4020-4650	2900-3450	3500-6000
معامل المرونة	Elastic modulus, G Pa	79.3~93.1	72.5~75.5	83~86	70~140	230~600
الاستطالة عند القطع	Elongation at break, %	3.1~6	4.7	5.3	2.8~3.6	1.5~2.0
الكثافة النوعية	Specific gravity	2.65-2.8	2.5~2.62	2.46	1.44	1.75~1.95
قطر الفتيل	Diameter of filament, μm	6~21	6~21	6~21	-	5~15
درجة حرارة التطبيق	Temperature of application, °C	-260~+500	-50~+380	-50+300	-50~+290	-50~+700
درجة حرارة الذوبان	Melting Temperature, °C	1450	1120	1550	-	-
السعر روبية/كغ	Price, Rs./kg	150	90	120	1500	1800

5- الدراسات المرجعية:

Nargiz & Farhod خصائصها المسببة للسرطان، وأوضح في عام 2020 [15] قدرة الألياف البازلتية العالية لإنشاء مواد غير تقليدية وخلق منتجات ذات قيمة مضافة، وأوضح تقرير سوق الألياف البازلتية في العالم عام 2019 [16] بأنه من المتوقع نمو سوق ألياف البازلت من 227 مليون دولار أمريكي في عام 2019 إلى 397 مليون دولار أمريكي بحلول عام 2024 بمعدل نمو سنوي مركب بلغ 11.8 %، وهذا نتيجة الطلب العالمي المتزايد عليها وذلك لما تتمتع به من ميزاتٍ عالية.

ما يميز هذه الدراسة عن الدراسات السابقة:

تعد هذه الدراسة وبحسب علم الباحث من أولى الدراسات التي تقوم بدراسة خصائص أول منتج بازلتي سوري المنشأ (Syrian Basalt Fibers Roving) وإجراء مختلف الاختبارات عليه.

6- القسم العملي:

1.7 - أولاً: الاختبارات المطبقة على الخيوط البازلتية:

1.1.7 - حساب نمرة الخيط: Linear density (tex)

تبين أنها مساوية لـ 1200 tex وفق ما يلي:

تمّ قطع طول 1m من خيوط (خصل) الكونة البازلتية وتمّ حساب وزنها على ميزان إلكتروني حساس وتبين أنها مساوية لـ 1.228 (g) ويقسمة طول العينة على وزن العينة نحصل على

دراسة (Madan & Akhtarul) في عام 2015 [5] حيث قدم الباحثان استعراضاً شاملاً لعملية تصنيع الألياف البازلتية وتطبيقاتها المختلفة في كل مكان (الجيولوجيا، والبناء المدني، وصناعة السيارات، والكهرباء والإلكترونيات، وصناعة الكيماويات والبتروكيماويات، وخدمات الأجهزة المنزلية والمعدات، الأفران، خطوط الأنابيب، الميناء، الإنشاءات، والمنصات البحرية، والخرسانات، والمنشآت، والزراعة ومحطات توليد الكهرباء.. إلخ) كما وأنها تقي بمفهوم التصميم المستدام والمباني الخضراء وذلك في مختلف التطبيقات، واحتلت الألياف البازلتية محل مختلف الألياف عالية الأداء مثل: الأسبستوس، الزجاج، الأراميد، والكربون، وحدد D Saravanan عام 2006 [12] نوعية الصخور المناسبة لتصنيع الألياف البازلتية وذلك بالاعتماد على محتوى SiO_2 "أكسيد السيلكون" فيها والمقدر بحوالي 46% "البازلت الحامضي"، وتوصل Raj & Ashwin عام 2017 [13] إلى تفوق الألياف البازلتية بـ (المرونة والصلابة وقابلية التمدد المنخفضة ومقاومة درجات الحرارة العالية) مقارنةً بالألياف الزجاجية والكربونية، وأوضح T.Czigany عام 2007 [14] بأن ألياف البازلت ستصبح بديلاً للألياف الزجاجية Glass Fibers المهيجة للجلد، والألياف الأسبستية Asbestos Fibers المحظورة بالفعل بسبب

غانم، صنّوفة

خواص الألياف والخيوط البازلتيّة السوريّة المستمّرة "SBCF"، واختباراتها "دراسة....."

النمرة المترية: (0.814332 = 1/1.228) وبلاستعانه بجدول تحويل النمر تمّ تحويل النمرة المترية إلى tex وفق ما يلي: (1000/0.814332 = 1200 tex)

الكتروني، وبوجود ثلاثة كواشف SE (انبعاث الالكترونات الثانوية Secondary Electrons) و BSE (انبعاث الكترونات الاستدارة الخلفية Backscatterd Electron) و EDX والموضح بالشكل (6).

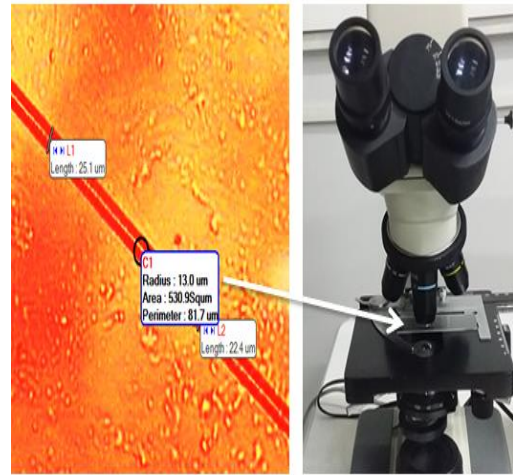


الشكل (6) اختبار تحليل التركيب العنصري للمواد (Edx)

وتمّ رصد ثلاثة مناطق من الخيط بوجود عنصر الكربون الذي يعود لحامل العيّنة المصنوعة منه والموضحة بالشكل (7) ليتمّ التحليل بناءً على المخطط الذي يُظهر ترددات طاقة كل عنصر ليتمّ توصيف عينات الخيوط البازلتيّة اعتماداً على العدد الذري والوزن الجزيئي لكل مركب موجود فيها، وبالتالي نتّمكّن من معرفة فيما إذا كان الخيط معالجاً أم لا لنتّمكّن من الحكم على نتائج جميع الاختبارات وتفسيرها بموثوقية عالية، والجدول (2) والشكل (8) يوضّحان الوزن الجزيئي ونسب مكونات العناصر في العيّنة في المناطق الثلاثة.

2.1.7 - تحديد قطر الخيط:

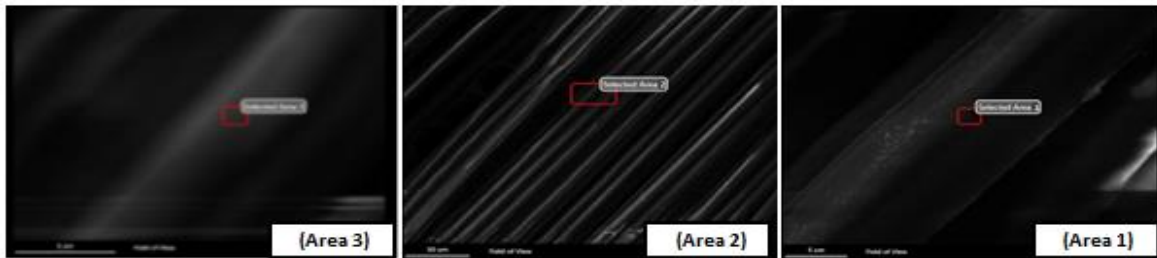
تمّ هذا الإجراء باستخدام المجهر الضوئي (المايكروسكوب) في مخبر الغزل والنسيج في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق، حيث تمّ وضع عدة عينات على عدسة المجهر لقياس متوسط قطرها Filament average diameter وتبين أن متوسط قطر هذه الخيوط هو $13 \mu\text{m}$ كما هو موضح بالشكل (5).



الشكل (5) المجهر الضوئي (المايكروسكوب)

3.1.7 - اختبار تحليل التركيب العنصري للمواد (Edx):

تم إجراء الاختبار في هيئة الطاقة الذرية في دمشق، حيث تم وضع العيّنة على لوح كربون ناقل للكهرباء بطول 1.5 cm ويتمّ توليد حزمة من الالكترونات عليها من خلال مدفع

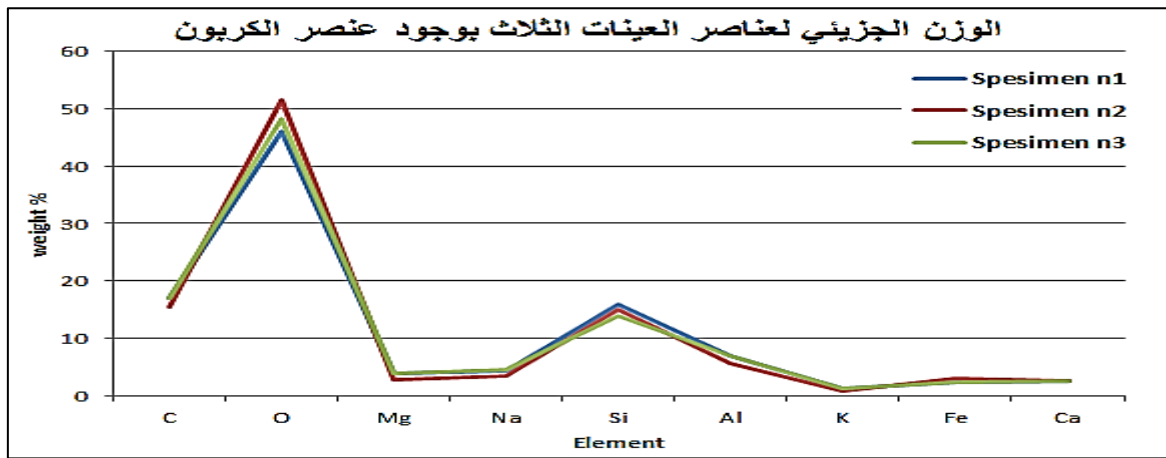


الشكل (7) المناطق الثلاثة مع وجود عنصر الكربون، من إعداد الباحث

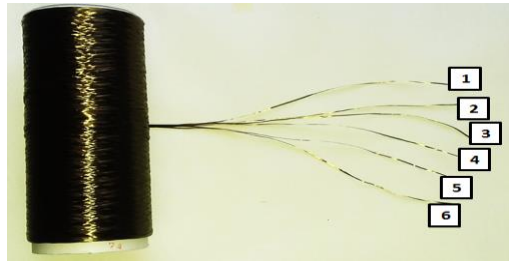
الجدول (2) وزن ونسب مكونات العناصر في العيّنة في المناطق الثلاثة

العنصر	العدد الذري %	الوزن الجزيئي %	العدد الذري %	الوزن الجزيئي %	العدد الذري %	الوزن الجزيئي %
--------	---------------	-----------------	---------------	-----------------	---------------	-----------------

%						
المنطقة الثالثة		المنطقة الثانية		المنطقة الأولى		
17.02	14.00	15.53	12.89	17.00	13.99	C
48.16	57.26	51.58	65.07	46.01	57.19	O
3.80	3.20	2.73	1.95	3.89	3.25	Mg
4.40	3.62	3.34	2.55	4.30	3.64	Na
13.8	12.43	14.92	11.41	15.9	12.43	Si
6.85	5.92	5.60	3.68	6.85	5.92	Al
1.20	0.59	0.87	0.39	1.22	0.59	K
2.34	1.23	2.91	0.95	2.35	1.24	Fe
2.46	1.75	2.52	1.11	2.48	1.75	Ca



الشكل (8) التمثيل البياني للوزن الجزيئي لعناصر العينات الثلاثة



الشكل (9) كونة الخبوط البازلتية

وتم إجراء هذا الاختبار في مخبر الغزل والنسيج في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق باستخدام جهاز قوة الشد TESTOMETRIC حيث تم تحضير عينات بطول 40 mm للعينة الواحدة ووزن (0.05 g) كما وبلغ طول العينة بين طرفي فكوك الجهاز (10 mm) وبسرعة للاختبار (25 mm/min) حيث تم تثبيت العينة بين طرفي الجهاز بالاستعانة بملزمة يدوية، ثم تم وضع الفكين على الجهاز كما في الشكل (10).

نستنتج مما سبق أن نسبة الكربون التي تعود لوجود لوحة الكربون التي تم تثبيت العينة عليها تشكل النسبة الأكبر من بنية الخيط البازلتي ثم تليها نسبة السليكا ثم الألمنيوم ثم الصوديوم ثم بقية المعادن الأخرى كالمغنسيوم والحديد والكالسيوم والبوتاسيوم، علماً أن نسبة الأوكسجين لا تؤخذ بعين الاعتبار والسبب يعود إلى أن متوسط التراكيب الكيميائية للصخور البركانية يتكون من الأوكسجين، وبمقارنة هذه النسب مع بنية الخيط البازلتي الخام [1] نجدها مماثلة تقريباً لبنيته وبالتالي هذا مؤشر على أن هذا الخيط غير معالج.

4.1.7 - اختبار الشد للخبوط البازلتية: Tensile Test

الكونة البازلتية مؤلفة من 6 خصل من الألياف البازلتية (أي أنه تم استخدام ستة رؤوس غزل أثناء تصنيعها) كما هو موضح بالشكل (9)، لذلك تم اختبار ست عينات (عينة من كل خصلة) لمقارنة نتائج كل خصلة مع الخصل الأخرى.

غانم، صنّوفة

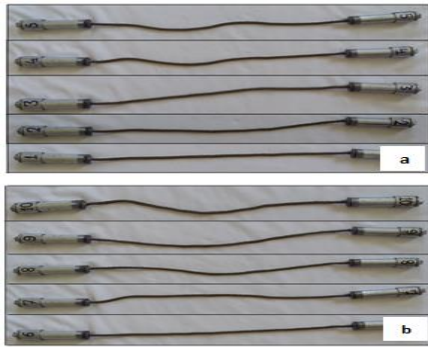
خواص الألياف والخيوط البازلتية السوربة المستمرة "SBCF"، واختباراتها "دراسة....."

تم القيام بها في مركز الاختبارات والأبحاث الصناعية في دمشق.

1.2.7 - تحضير (إعداد) العينات وتصميم نظام التثبيت:

أشارت الاختبارات الأولية إلى أن السحب المباشر للحبال البازلتية ضمن فكي آلة اختبار الشد يؤدي إلى انزلاقها وتقطعها أثناء تطبيق الاختبار (فشل الاختبار) ونتيجة لذلك تم اقتراح نظام تثبيت (مقبض لكل نهاية حبل)، لذلك يعد تصميم هذه المقابض أمراً مهماً للغاية لموثوقية نتائج الاختبار وذلك لمنع انزلاق الحبل بين فكي آلة الاختبار وتقادي انحراف الحبل عن الوضع الشاقولي ضمن فكي آلة الاختبار لأنه يسبب أوضاع فشل غير مرغوب بها.

بدايةً تم تحضير عشرة عينات من الحبال (خمسة بقطر 5 mm وخمسة بقطر 4 mm) والموضحة بالشكل (12)،



حيث تم اشتقاق أبعاد العينات بشكل مماثل للحبال الفولاذية أو

الحبال الليفية العامة مع مراعاة أنه:

يجب أن يكون البعد بين فكي الآلة <math>(mm) < 400</math> بحسب شروط تنفيذ الاختبار على الآلة، وبناءً عليه تم اختيار طول العينات $L = 700\text{ mm}$، مع ترك الطول الفعال بين المقبضين $l_0 = 500\text{ mm}$، وطول القبضة (الأنبوب الفولاذي والمملوء براتنج الأيبوكسي) بطول $l_a = 100\text{ mm}$ ويوضح الشكل (13) أبعاد عينات الحبال مع نظام التثبيت.

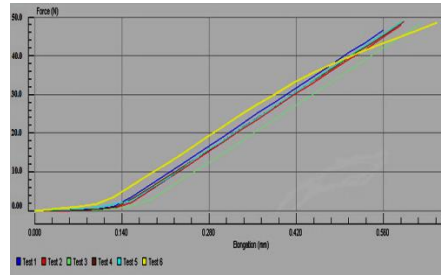


الشكل (10) جهاز قوة الشد TESTOMETRIC

وعند إجراء الاختبار تبين أن جميع العينات متماثلة في سلوك الفشل (الانقطاع) تقريباً، ويوضح الشكل (11) والجدول (3) نتائج الاختبار: حيث تبين أن قيمة Force break (قوة الانقطاع) بلغت وسطياً (N) 49.231، وكانت أزمنة القطع Time to failure لجميع العينات متقاربة جداً بلغت وسطياً (Sec) 1.599، كما وبلغت استطالة القطع وسطياً (mm) 0.589، وبعد ذلك تم إعادة الاختبار ولكن لعينات من الخصل البازلتية مجتمعة (الـ 6 خصل مجتمعة مع بعضها البعض) لتحديد قوة الانقطاع لها، وبلغت قيمتها وسطياً (N) 450.

الجدول (3) نتائج اختبار الشد لعينات الخصل البازلتية

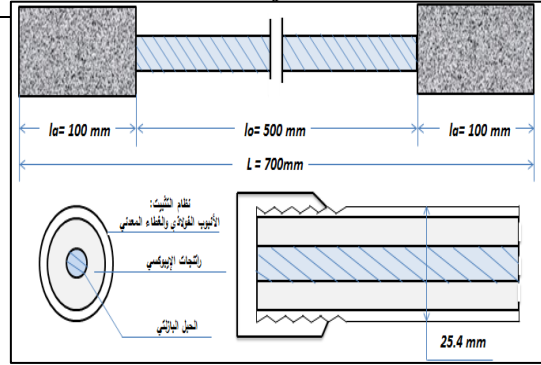
Time to failure (Sec)	Elong break (mm)	Force Break (N)	n
1.445	0.559	48.586	العينة 1
1.522	0.588	49.110	العينة 2
1.585	0.618	49.252	العينة 3
1.887	0.593	49.512	العينة 4
1.508	0.589	49.520	العينة 5
1.648	0.646	49.406	العينة 6
1.599	0.598	49.231	Averag



الشكل (11) منحنى بياني يوضح العلاقة بين قوة الانقطاع

والاستطالة للخصل البازلتية الستة

2.7 - ثانياً: الاختبارات التي تم إجراؤها على أنواع متعددة من الحبال البازلتية:



الشكل (12) عينات الحبال البازلتية:

a: قطر 5 mm و b: قطر 4 mm

حيث كان سلوكها هشاً ومع نفس آلية التمزق (حالة الفشل نفسها في كل عينة)، إذ يبدأ التمزق ابتداءً من الخيوط الخارجية للحبل ومع ازدياد القوة المطبقة تتحول الأحمال إلى الخيوط الداخلية مما يضعف من المقاومة وتكون احتمالية الفشل في أي وقت مما يتوجب إيقاف الاختبار.



الشكل (15) تطبيق اختبار الشد للحبال البازلتية

ويوضح الشكل (16) العلاقة بين قوة الانقطاع والاستطالة للحبال البازلتية بأقطار 5 mm و 4 mm على الترتيب، إذ تبين أن عينات الحبال بنوعيهما مرتبطة بقانون غير خطي (على شكل قطع مكافئ) ويمكن اعتبار هذا التصرف مشابه لحد ما فشل الحبال الفولاذية المجدولة (يحدث الفشل أولاً في الأسلاك الخارجية ثم يتجه نحو الأسلاك الداخلية) مع ملاحظة ما يلي:

- انتظام شكل المنحني في حبل الـ 5mm ويعود السبب في ذلك إلى آلية غزل الحبل والذي يتكون بحسب خبراء الشركة المصنعة من ثمانية صفوف (خصل) من الخيوط الخارجية فوق قلب داخلي يتكون بدوره من ثمانية صفوف مجدولة من ألياف البازلت، إذ تتمزق بدايةً الخيوط الخارجية بالكامل ثم تتمزق الخيوط الداخلية بعدها مباشرة.

كما وتمّ استخدام أغذية ملولبة من الصلب (صامولة) في الجهة الخارجية للقبضة لإغلاق نهايته ولتحقيق قوة المسك اللازمة لفك الآلة على العينات، بالإضافة إلى غطاء مطاطي متقوب في المنتصف بفتحة أكبر قليلاً من قطر الحبل فيالجهة الداخلية للقبضة وذلك لإغلاق نهايات الأنابيب ولإبقاء الحبل في وسط الأنبوب، حيث يتم تعبئة الأنابيب براتنجات الأيبوكسي لمدة 24 h لتحقيق التصلب لهذا الغرض، ويتم قلب العينة وإعداد الطرف الثاني بنفس الطريقة، ويوضح الشكل (14) المواد المستخدمة لتصميم نظام التثبيت للعينات.

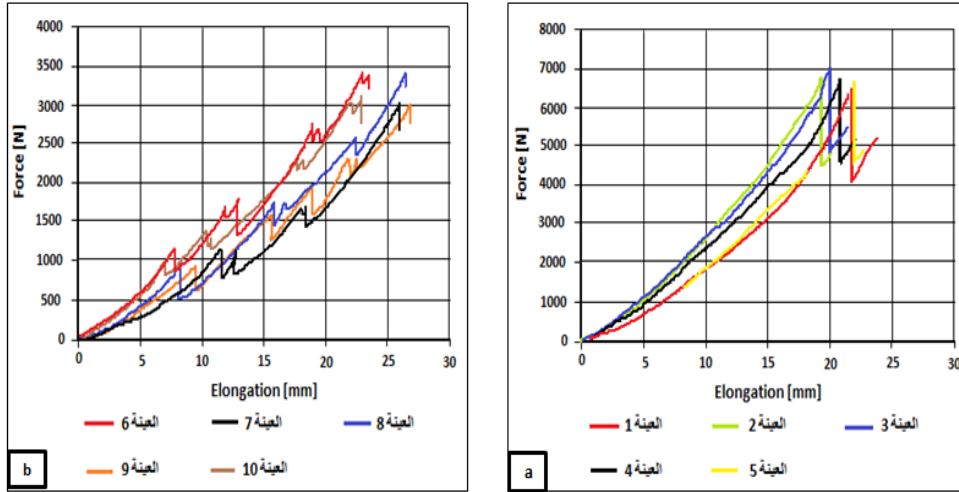


الشكل (14) المواد المستخدمة لتصميم نظام التثبيت للعينات

2.2.7 - طريقة إجراء اختبار الشد للحبال البازلتية:

تم إجراء الاختبار وفق المواصفة القياسية ASTM-A931 حيث تمّ تثبيت الطرف العلوي للعينة أولاً على الفك العلوي للآلة، ثم تمّ وضع الطرف السفلي والتأكد من تحقيق الشاقولية قبل تطبيق الحمل كما هو موضح بالشكل (15)، وتمّ تطبيق الحمل بسرعة ثابتة تبلغ 25 N/Sec حتى فشل العينة، وعند إجراء الاختبار تبين أن جميع العينات فشلت (تمزقت) فجأة

عدم انتظام شكل المنحني في حبل الـ 4mm (حيث نلاحظ حدوث تذبذبات وقفزات في شكل المنحني) ويعود السبب في ذلك إلى آلية غزل الحبل والذي يتكون من ثمانية صفوف الخارجية بالتوازي مع تقطع القلب الداخلي للحبل.



الشكل (16) العلاقة بين قوة الانقطاع والاستطالة للحبال البازلتية

a: حبل بازلتي بقطر 5 mm و b: حبل بازلتي بقطر 4 mm

الجدول (4) نتائج اختبار الشد لعينات الحبال البازلتية بقطر 5 mm

رقم العينة	القطر الاسمي (mm)	Elong break $\Delta L_{F_{max}}$ (mm) الاستطالة	Force Break F_{max} (N) قوة الانقطاع	Strain Break $\epsilon_{max} = (\Delta L / L_0)$ الانفعال عند الانقطاع	Stress Break $\delta_{max} = F/A$ (MPa) الإجهاد عند الانقطاع
1	5	21.99	6551.70	0.044	333.84
2	5	19.58	6834.09	0.040	348.23
3	5	20.09	7002.13	0.040	356.80
4	5	21.19	6701.55	0.042	341.48
5	5	22.10	6658.21	0.044	339.27
Average	5	20.99	6750.00	0.042	344.00

الجدول (5) نتائج اختبار الشد لعينات الحبال البازلتية بقطر 4 mm

رقم العينة	القطر الاسمي (mm)	Elong break $\Delta L_{F_{max}}$ (mm) الاستطالة	Force Break F_{max} (N) قوة الانقطاع	Strain Break $\epsilon_{max} = (\Delta L / L_0)$ الانفعال عند الانقطاع	Stress Break $\delta_{max} = F/A$ (MPa) الإجهاد عند الانقطاع
6	4	23.98	3450.55	0.066	274.72
7	4	26.01	3001.12	0.052	238.94
8	4	26.99	3412.89	0.054	271.72
9	4	27.15	3000.10	0.054	238.86
10	4	22.75	3175.16	0.045	252.80

Average	4	25.37	3208	0.054	255.40
---------	---	-------	------	-------	--------

7- نتائج الدراسة:

1.8 - نتائج اختبارات الألياف والخيوط البازلتية السورية:

بالاعتماد على دراسة خواص كونة الخيوط البازلتية المتوفرة لدى الباحثين تبين أن الخيوط (الخصل) البازلتية المشكّلة لها هي عبارة عن خيوط خام غير معالجة وأن نمرة الخيط تساوي 1200 tex وقطره (μm) 13 وقوة انقطاعها بلغت (N) 450 كما وكانت قوة انقطاع الخصل البازلتية الستة (المشكلة للخصلة الرئيسية للكونة) متقاربة جداً وبلغت وسطياً 49.231 (N).

2.8 - نتائج اختبارات الحبال البازلتية السورية:

بالاعتماد على اختبار الشد المطبق على الحبال والموضح بالجدول (4) والجدول (5)، تبين ما يلي:

- حبل 5mm يظهر قوة انقطاع تبلغ تقريباً ضعف مما هو عليه في حبل 4mm (وهذا يعكس أن بنية الحبل تبدي ارتباطاً

رائعاً بين الألياف، وبالتالي فإن عدد الألياف يحدد سلوك الحبل)

- استطالة حبل 4mm تتفوق على استطالة حبل 5 mm بمعنى آخر يوجد تناسب عكسي بين الاستطالة والقطر الاسمي للحبل أي تزيد الاستطالة بنقصان القطر الاسمي للحبل.

- حبل 5mm يظهر انفعال أقل وإجهاد أكبر من حبل 4 mm

- وبالأخذ بعين الاعتبار العلاقة بين القوة والاستطالة للحبال والموضحة بالشكل رقم (15)، فلا بدّ من ملاحظة أن عينات الحبال مرتبطة بقانون غير خطي (على شكل قطع مكافئ)، وهذا يُظهر زيادة في القوة قرب نقطة التصدع وبالتالي يمكن اعتبار هذا التصرف مشابه لحد ما فشل الحبال الفولاذية المجدولة (يحدث الفشل أولاً في الأسلاك الخارجية ثم يتجه نحو الأسلاك الداخلية) وهذا عائد إلى مورفولوجيا الحبل نفسه عند تغير الخيوط داخلها.

8- الخاتمة:

نظراً لما تتمتع به الألياف والخيوط البازلتية من خواص متميزة ستجعلها في الوقت القريب من المواد الخام المطلوبة في السوق العالمية خاصةً وأنها باتت تعتبر الحل الأمثل مقارنة بالألياف الكربونية وألياف الفيبرجلاس، وسيكون لها استخدامات واسعة وكبيرة في الصناعة والبناء ووسائل النقل المختلفة وفي مجالات الطاقة والصناعات الكيميائية والنفطية والميتالوجينية والنسجية والدفاعية والإنشائية والبحرية وغيرها.

وبحسب وجهة نظر الباحث سيكون لهذه الألياف دوراً كبيراً في سورية خاصةً في مرحلة إعادة الإعمار وذلك في حال تم استثمار الصخور البازلتية والمتوفرة بكميات هائلة في سورية تقدر بمليارات الأمتار المكعبة.

وانطلاقاً من ذلك لا بد من رفع شعار (تحويل الحجر البازلتي السوري إلى الذهب) لما له من دور في تحقيق قفزات نوعية في العديد من القطاعات في سورية بالإضافة إلى تحسين عملية الإسراع بالتنمية وفي دعم الاقتصاد الوطني من حصيللة قطع أجنبي وغيره من خلال تصدير منتجات الصخور البازلتية المتعدّدة، وما ينجم عن ذلك في تحسين الوضع التنافسي لوطننا الحبيب سورية لتمكنه من الدخول في حلقات القيمة المضافة التي تعتبر قوام التنمية الاقتصادية لجميع الدول حالياً.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

References:

1. شرف، مزيد. (2009) "البازلت مادة أولية لصناعات هامة ونوعية في سوريا" /ابتكارات للقرن الواحد والعشرين/ قدم إلى المؤتمر الجيولوجي الثاني، سوريا، دمشق.
2. أسعد، ماجد. (2013) تقييم الحصويات البازلتية (بالمناطق الشمالية الغربية- جسر الشغور) للاستخدام في أعمال الخرسانة مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية المجلد التاسع والعشرون، 29 (2)، 67-80.
3. حامد، محمود. (2017) "الألياف البازلتية واستخداماتها في المنشآت والصناعات المختلفة". سورية، الباحثون السوريون. www.syr-res.com?R13369 May 29, 2017
4. Ólafsson, H. & Þórhallsson, E (2009) **Basalt fiber bar- Reinforcement of concrete structures-** pp. 1-14. REYKJAVÍK UNIVERSITY, pp 3-14
5. Regar, M. & Amjad, A. (2016) **Basalt Fiber – Ancient Mineral Fiber for Green and Sustainable Development.** Tekstile, Indiac, 2016, 59(4), 321-334
6. Abdiev, j. (2022) **BASALT FIBER -BASIC (PRIMARY) CONCEPTS**, Article in International Scientific Research Journal · Volume 3, Issue 4, April 2022, pp.213-240
7. CHIKHRADZE, N. M. & JAPARIDZE, L. A & others , (2012) **Properties of basalt plastics and of composites reinforced by hybrid fibers in operating conditions.** Composites and their applications, pp. 243–268

8. ~~LIU, Q. & SHAW, M. & others (2006) Investigation of basalt fiber composite mechanical properties for applications in transportation. Polymer Composites, 27(1), 41–48, doi: 10.1002/pc.20162. <https://doi.org/10.1002/pc.20162>~~
9. Turukmane,R. N. & Gulhane,S. S. & others (2018) **Basalt – technical fiber for civil applications, Chemical Fibers International** 1/2018, pp 38-40.
10. Pandurang Kumbhar, Vishal. & Aher, Daulatrao. (2014) **An Overview: Basalt Rock Fibers - New Construction Material**. In Acta Eng Intl 2014, 2(1),pp. 11- 18, Karad, India.
11. Harraz,H. Z. (2019) **Basalt Rock Fiber**, Conference Paper · October 2019, See discussions, stats, and author profiles for this publication at <https://www.researchgate.net/publication/336702805>
12. Saravanan. (2006) **Spinning the Rocks - Basalt Fibers**. (Vol 86, February 2006, pp 39- 45).
13. Raj U. Punjabi& Ashwin D. Pathak. (2017) **REVIEW OF BASALT FIBERS**. (IJSR) www.ijsr.net Licensed Under Creative Commons Attribution CC BY , National Conference in Applied Sciences and Humanities: NCASH-2017 Thakur College of Engineering & Technology (TCET), Kandivali (E), Mumbai, India <http://www.tcethns.cf> , pp57-61
14. Czigány T. (2007) **Trends in fiber reinforcements – the future belongs to basalt fiber**. eXPRESS Polymer Letters Vol.1, No.2 (2007) 59. DOI: 10.3144/expresspolymlett.2007.11 www.expresspolymlett.com
15. Matchonova N. & Rakhimov F. (2020) **Basalt Fiber and Capabilities for Creating Added Product, Solid State Technology**, Volume:63 Issue: 5. Archives Available @ www.solidstatetechnology.us
16. (2015) **Basalt Fiber Market worth \$397 million by 2024**. Published Date: Apr 2019 | Report Code: CH 3164.<https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/basalt-fiber.asp>